

УДК 621.311.21

АНАЛИЗ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ ANALYSIS OF HYDROPOWER DEVELOPMENT IN THE WORLD

К. В. Атрощенко, С. А. Зинчук, Е. А. Шман

Научный руководитель – Е. П. Корсак, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

K. Atroshchenko, S. Zinchuk, E. Shman

Supervisor – E. Korsak, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: работа посвящена анализу развития гидроэнергетики, включая исторические этапы, современное состояние и перспективы развития. Рассмотрена роль ГЭС в энергетическом балансе, а также экологические и социальные последствия. Особое внимание уделено авариям на ГЭС и их причинам, а также перспективы развития малых ГЭС.

Annotation: the work is devoted to the analysis of hydropower development, including historical stages, current state and development prospects. The role of hydroelectric power plants in the energy balance, as well as environmental and social consequences are considered. Particular attention is paid to accidents at hydroelectric power plants and their causes, as well as prospects for the development of small hydroelectric power plants.

Ключевые слова: гидроэнергетика, гидроэлектростанции (ГЭС), экологические последствия, малые ГЭС, аварии на ГЭС, энергетический баланс, устойчивое развитие.

Keywords: hydropower, hydroelectric power plants (HPP), environmental impacts, small HPPs, HPP accidents, energy balance, sustainable development.

Введение

Гидроэнергетика, являясь одним из старейших и наиболее освоенных возобновляемых источников энергии, продолжает сохранять стратегическое значение в глобальном энергетическом балансе. Ее доля в мировом производстве электроэнергии, составляющая 16 %, подчеркивает роль гидроэлектростанций (ГЭС) как ключевого элемента низкоуглеродной энергетики. Однако современные вызовы, такие как климатические изменения, растущий спрос на энергоресурсы и необходимость перехода к устойчивому развитию, актуализируют вопросы анализа эволюции гидроэнергетики, ее текущего состояния и перспектив.

Актуальность исследования обусловлена противоречиями, сопровождающими развитие отрасли. С одной стороны, ГЭС обеспечивают стабильное энергоснабжение, способствуют решению задач водопользования и снижению выбросов парниковых газов. С другой – масштабные проекты связаны с экологическими рисками, социальными конфликтами

и техногенными катастрофами демонстрируют необходимость совершенствования стандартов безопасности и управления. Кроме того, смещение фокуса в сторону малых ГЭС, обладающих меньшим воздействием на экосистемы, требует оценки их потенциала в контексте децентрализованного энергоснабжения и «зеленого» перехода.

Целью работы является комплексный анализ развития гидроэнергетики в мире, включая исторические этапы, современные тенденции, экологические и социальные последствия, а также оценку перспектив отрасли.

Практическая значимость работы заключается в формировании рекомендаций по минимизации экологических и социальных рисков при проектировании ГЭС, а также в обосновании роли малых гидроэлектростанций в достижении целей устойчивого развития. Результаты исследования могут быть использованы при разработке энергетических стратегий, направленных на баланс между технологическим прогрессом, экологической ответственностью и социальной справедливостью.

Основная часть

Основной метод получения электричества в первой половине 19 века открыл английский физик Майкл Фарадей. Он выяснил: если катушку из проводящего материала поставить между полюсами магнита и как следует закрутить, возникнет электрический ток. Этот принцип используется и сегодня. Только вместо катушки – большой генератор, который под действием механических сил приводится в движение. Одним из самых распространенных способов получения электроэнергии являются гидроэлектростанции.

Первая гидравлическая турбина была изобретена в 1750 году, а первая ГЭС была построена в Англии в 1878 году. Однако основное развитие пришлось на 20 век, когда происходило существенное увеличение мощностей по всему миру. Данный рост был обусловлен различными факторами, одними из которых являются относительно низкая себестоимость производной электроэнергии, возобновляемым характером ресурса и, конечно же, из-за возможности использования гидроэнергетических объектов для водоснабжения, защиты от наводнений и тому подобное. Первая ГЭС на территории Беларуси была запущена в 1899 году на реке Ипуть в центре Добруша, основной целью которой была необходимость снабжения электричеством Добрушской бумажной фабрики.

Основной принцип работы гидроэлектростанций заключается в том, что кинетическая энергия воды трансформируется, которая движется, в механическую энергию вращения турбины, которая после этого преобразуется в электрическую энергию (рисунок 1) [1].

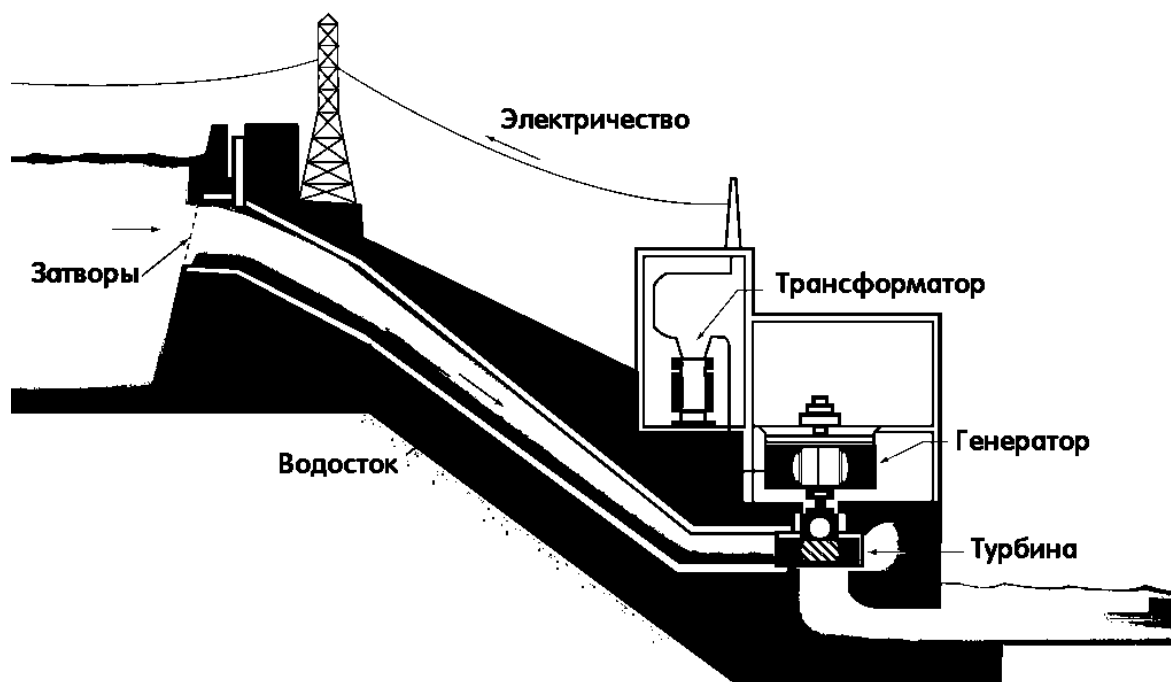


Рисунок 1 – Устройство и принцип работы ГЭС

Для получения электроэнергии существует разные виды гидроэлектростанций. Самый известный и популярный вид – это плотинный. Он использует искусственную плотину для создания перепада уровней воды, формируя водохранилище. При сбросе воды через турбины ее кинетическая энергия вращает лопасти, что приводит в действие генераторы, которые в итоге вырабатывают электричество. На втором месте по популярности стоит деривационная ГЭС. Она использует естественный уклон местности: вода отводится из реки через каналы, трубопроводы и направляется к турбинам, расположенным ниже по течению. Перепад высот между забором воды и турбинами создает напор, который преобразуется в электроэнергию через генераторы. Главным преимуществом является отсутствие необходимости строительства масштабных плотин.

Сегодня наблюдается активное строительство новых ГЭС преимущественно в развивающихся странах. Лидеры по темпам развития гидроэнергетических мощностей являются Китай, Индия, Бразилия, Пакистан, Иран и Эфиопия. Крупнейшими ГЭС в мире считается ГЭС «Три ущелья» в Китае. Она способна генерировать 22 ГВт, но, несмотря на свое величие, данная ГЭС оказывает негативное влияние на экологию. Также еще одна крупная ГЭС в мире «Итайпу», которая располагается в Бразилии и мощность которой оценивается в 14 ГВт. Данная гидроэлектростанция обеспечивает качественной электроэнергией Парагвай и Бразилию. Но при строительстве «Итайпу» было уничтожено огромное количество лесов, помимо этого пропал водопад Гуайра. Следующей по мощности гидроэлектростанцией является ГЭС «Силоду», расположенная в Китае. Мощность составляет примерно 13,8 ГВт. Кроме обеспечения электроэнергией, «Силоду» имеет еще одно назначение – это обеспечение безопасности наземных объектов от

невероятных разливов реки, на которой расположена данная гидроэлектростанция. Также на реки Карон, в Венесуэле находится электростанция «Гури», которая возглавила 4 место крупнейших ГЭС по всему миру. Ее мощность оценивается больше 10 ГВт. Благодаря данной станции обеспечивается электроэнергией почти 70 % государства. В топ-5 крупнейших ГЭС мира входит ГЭС – «Тукури», которая расположена на реке Токантис в Бразилии. Ее мощность выше 8 ГВт. Данная электростанция сильно повлияла на экологию. В реке уменьшилось разнообразие флоры и фауны. Также было уничтожено большое количество леса, в итоге чего бразильские племена были вынуждены покинуть места своего пребывания.

В конце 2018 года глобальные мощности ГЭС составили почти 1292 ГВт, из которых значительную роль составляет Китай (352 ГВт), далее идет Бразилия (104 ГВт), США (103 ГВт) и Канада (81 ГВт). На эти четыре страны в конце 2018 года приходилось половина мировых мощностей [2].

HYDROPOWER INSTALLED CAPACITY WORLDWIDE

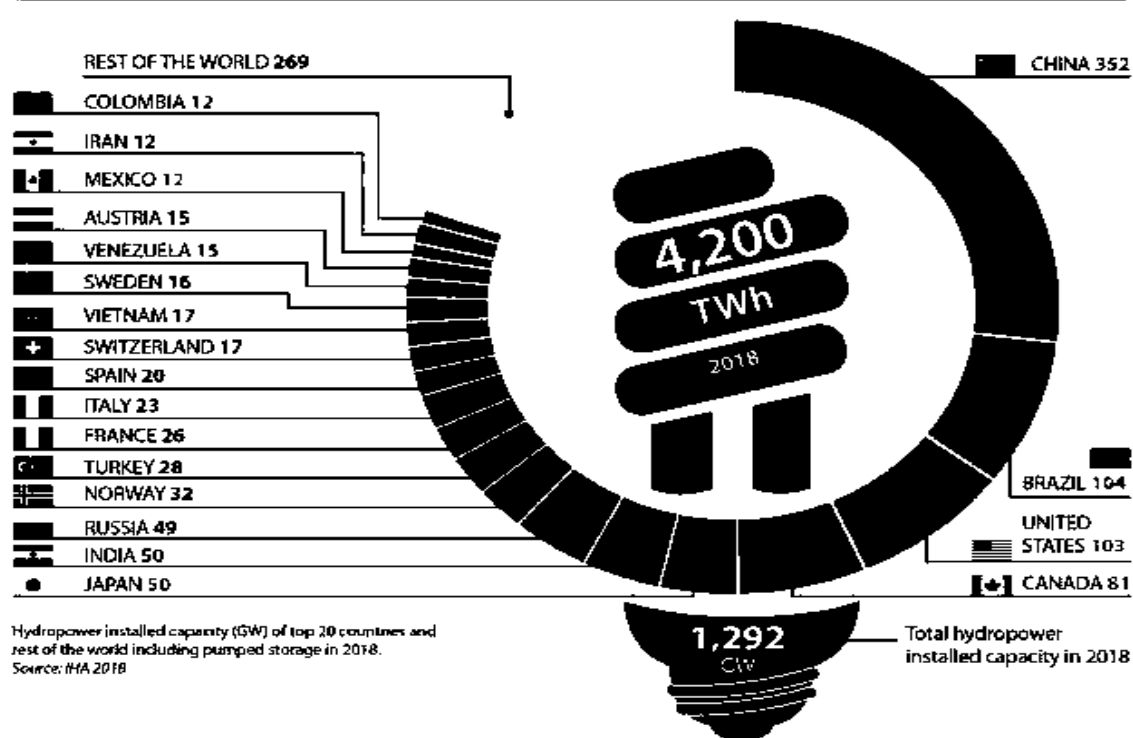


Рисунок 2 – Установленная мощность гидроэлектростанций во всем мире

В белорусской энергетике также ГЭС играет немало важную роль в добыче электроэнергии. Всего на территории Республики Беларусь насчитывается 53 гидроэлектростанции, суммарная мощность которых оценивается примерно в 96 МВт. Крупнейшей ГЭС в Беларуси считается Витебская ГЭС, которая находится на реке Западная Двина. Ее проектная мощность оценивается в 40 МВт, а среднегодовая выработка составляет 138 миллиона кВт·ч.

Несмотря на то, что ГЭС строятся с нормами и правилами безопасности, в мире происходило немало аварий, которые связаны

с конструкционными ошибками и природными факторами (наводнения, землетрясения, засухи). Также одним из важного фактора является человеческий – это разнообразные ошибки персонала, плохое обслуживание. Еще одна причина – это, конечно же, социально-экономическая. Коррупция, экономия на безопасности, военные действия – все это может послужить авариям на электростанциях.

Одной из крупнейших техногенных катастроф на территории России была авария на Саяно-Шушенской ГЭС, которая была самая мощная ГЭС в стране. Авария произошла 17 августа 2009 года, в результате которой был затоплен машинный зал, разрушено и повреждено 10 гидроагрегатов. Также погибло 75 человек. Материальный ущерб по разным оценкам составил около 40 миллиардов рублей. Назначенные виновными были осуждены, но истинные причины аварии так и остались неназванными. Одной из причин считается разрушение гидроагрегата № 2 из-за усталости металла и гидроудара.

Одной из самых больших аварий, произошедшей из-за природных условий, была прорыв дамбы Баньцяо ночью 8 августа 1975 года, в которой погибло около 200 тысяч человек. Основной причиной считается череда тайфунов, которая произошла незадолго до прорыва, в итоге которых был зафиксирован рекорд выпадения осадков. Также катастрофа долгое время не оглашалась властями Китая. Еще одним фактором, из-за которого происходят это человеческий. В итоге в 12 марта 1928 года рухнула плотина Сент-Фрэнсис в Лос-Анжелесе. Погибли более 600 человек. Катастрофа плотины Сент-Фрэнсис – одна из самых крупных инженерных катастроф в США. Главной причиной является ошибка в проектировании, а именно пренебрежение геологией основания.

Последствия данных аварий – это массовые жертвы, экологические и экономические потери, социальные проблемы. Точное количество жертв аварий на ГЭС и плотинах определить очень сложно. Это связано с тем, что существуют косвенные жертвы – жертвы, которые погибли не из-за самих аварий, а непосредственно из-за последствий, которые появились, – это голод, эпидемия и так далее. Также некоторые страны не разглашали масштабы трагедий. Аварии, которые произошли давно, также тяжело оценить. Таким образом, современные ГЭС строятся с учетом многократного запаса прочности, внедряются системы мониторинга, но угроза все еще остается, особенно в регионах с изношенной инфраструктурой или слабым контролем.

Сегодня активно развиваются малые гидроэлектростанции. В отличие от крупных ГЭС, они оказывают меньшее воздействие на окружающую среду. Главными преимуществами данного вида электростанций являются решение проблемы энергообеспечения удаленных населенных пунктов без необходимости строительства дорогостоящих линий электропередачи, повышение экономической эффективности и диверсификация энергетических ресурсов. Использование потенциала не только крупных, но и малых рек, что позволяет эффективно применять доступные водные ресурсы. Прогнозируемые

темпы роста малой гидроэнергетики в сравнении с крупной показывают смещение внимания в сторону более устойчивых решений [3].

Таблица 1 – Темп роста крупных и малых ГЭС

Источник энергии	Темп роста (%)
	2007–2030 гг.
Крупные ГЭС	2
Малые ГЭС	4,7

Перспективы развития в гидроэнергетике: современные тенденции показывают увеличение развития малых ГЭС, обладающих меньшим экологическим воздействием. Прогнозируемый рост малых ГЭС, в сравнении с крупными, показывают потенциал их развития. Также технологические инновации позволяют снизить риск аварий. Интеграция гидроэнергетики с другими возобновляемыми источниками может создать гибридные системы, повышающие стабильность энергоснабжения. Однако развитие отрасли требует учета экологических и социальных последствий: минимизация затопления территорий, учет интересов местных сообществ. Международные климатические соглашения и государственные программы поддержки «зеленой» энергетики будут играть решающую роль в стимулировании устойчивого роста гидроэнергетики.

Заключение

Гидроэнергетика остается важным элементом глобального энергобаланса, обеспечивая 16 % мировой электроэнергии. Ее развитие сопровождается как значительными преимуществами, так и серьезными вызовами: экологическими рисками, социальными конфликтами, техногенными катастрофами. Анализ крупнейших ГЭС мира показал, что их строительство часто приводит к необратимым изменениям экосистем. В то же время малые ГЭС демонстрируют потенциал для решения локальных энергетических проблем с меньшим ущербом для окружающей среды. Уроки прошлых аварий, таких как катастрофа на Саяно-Шушенской ГЭС или прорыв дамбы Баньцяо, подчеркивают необходимость строгого соблюдения стандартов безопасности, регулярного мониторинга и прозрачности в управлении проектами. Будущее гидроэнергетики зависит от баланса между энергетическими потребностями, экологической ответственностью и социальной справедливостью. Для достижения устойчивого развития требуются международное сотрудничество, внедрение инновационных технологий и приоритет долгосрочных экологических и социальных преимуществ над краткосрочной экономической выгодой.

Литература

1. От генератора до розетки. Как производят электричество на ГЭС, АЭС и ТЭС: [сайт] – URL: https://bcs-express.ru/novosti-i-analitika/ot-generatora-do-rozetki-kak-proizvodiat-elektrichestvo-na-ges-aes-i-tes?utm_referrer=https%3a%2f%2fweb.telegram.org%2f (дата обращения: 18.09.2025).

2. ГЭС: виды, принципы работы, самые крупные электростанции на земле: [сайт]. – URL: <https://metenergo.com/news/tpost/fzg8km1ci1-ges-vidi-printsipi-raboti-samie-krupnie?amp=true> (дата обращения: 18.09.2025).

3. ГЭС в мире: топ-10 самых мощных и красивых гидроэлектростанций: [сайт]. – URL: <https://220volt.com.ua/news/ges-v-mire-top-10-samyh-moschnyh-i-krasivyh-gidroelektrostantsij/?srsltid=AfmBOopl96NNQRraiW0W-jRyzCMmU9wIMTRi6jwH-D4WlC1KJjMOp98b8> (дата обращения: 18.09.2025).

4. Итоги развития мировой гидроэнергетики в 2018 году: [сайт]. – URL: <https://renen.ru/the-results-of-the-development-of-world-hydropower-in-2018/amp/> (дата обращения 18.09.2025).

5. Авария на Саяно-Шушенской ГЭС: как погибли и спасались люди: [сайт]. – URL: <https://www.sibreal.org/amp/avariya-na-sayano-shushenskoy-ges-kak-gibli-i-spasalis-lyudi/33081171.html> (дата обращения: 19.09.2025).